

(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(51) Int. Cl.<sup>6</sup> (11) 공개번호 특2000-0073215  
B25J 9/00 (43) 공개일자 2000년 12월 05일

(21) 출원번호	10-1999-0016375
(22) 출원일자	1999년 05월 07일
(71) 출원인	금호산업 주식회사 광주광역시 서구 광천동 49-1광주과학기술원 김효근 광주광역시 북구 오룡동 1번지
(72) 발명자	류제하 광주광역시북구오룡동1번지광주과학기술원기전공학과 이선규 광주광역시북구오룡동1번지광주과학기술원기전공학과 보네브리안에이. 광주광역시북구오룡동1번지광주과학기술원기전공학과 김남전 광주광역시북구오치동삼익2차A201동102호 문승환 광주광역시광산구우산동주공A11동407호
(74) 대리인	특허법인 원전 임석재, 특허법인 원전 윤우성

심사청구 : 있음

(54) 병렬 로봇의 제어방법 및 장치

요약

본 발명은 병렬 로봇의 삼차원 위치를 제어하는 방법 및 병렬 로봇에 관한 것으로서, 더욱 구체적으로는 고정대(2)와; 고정대(2) 상방에 위치하는 이동대(1)와; 고정대(2)와 이동대(1) 사이에 위치하는 6개의 구동기(3)와; 고정대(2)와 구동기(3)의 하단을 연결하는 유니버설 조인트(A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, ..., A<sub>6</sub>)와; 이동대(1)와 구동기(3)의 상단을 연결하는 구형 조인트(B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, ..., B<sub>6</sub>)를 포함하며 선형 거리 센서(4)가 이동대(1)와 고정대(2) 사이에 설치됨을 특징으로 하는 병렬 로봇과 상기한 구성을 가지는 병렬 로봇을 제어하는 방법에 관한 것으로서, 위치를 구하는 순 기구학(forward kinematics)해가 아주 간단하고 실시간으로 빠르게 계산되어, 이러한 제어방법이 응용되는 병렬 로봇형 삼차원 좌표 측정기, 병렬 로봇형 5축 가공기, 병렬 로봇형 6축 힘/토크센서 등에 고성능화, 고정밀화할 수 있는 효과가 있다.

대표도

도 1

색인어

병렬 로봇, 로봇, 센서, 순기구학

명세서

도면의 간단한 설명

도 1은 본 발명의 병렬 로봇을 구성하는 실시예 1을 나타내는 개략도,  
도 2는 병렬 로봇의 이동대에 설치된 조인트 및 센서 위치를 나타내는 개략도,  
도 3는 본 발명의 병렬 로봇을 구성하는 실시예 2를 나타내는 개략도,  
도 4는 본 발명의 병렬 로봇을 제어하는 과정을 나타내는 블록도.

<도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명>

- 1...이동대 (Mobile Platform),
- 2... 고정대 (Fixed Base Platform),
- 3...구동기 (Actuator),
- 4... 선형 거리 센서,

$A_1, A_2, \dots, A_6 \dots$  유니버설 조인트 (Universal Joint),

$B_1, B_2, \dots, B_6 \dots$  구형 조인트(Spherical Joint),

$S_1, S_2, S_3 \dots$  센서의 고정대 부착 조인트,

$T_1, T_2, T_3 \dots$  센서의 이동대 부착 조인트,

**발명의 상세한 설명**

**발명의 목적**

**발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술**

본 발명은 병렬 로봇의 위치를 제어하는 방법 및 병렬 로봇에 관한 것으로서, 특히 6자유도 병렬 로봇의 6개의 구동기에 기(既) 부착된 거리 센서 외에 3개의 부가적인 선형 거리 센서를 이동대 및 고정대의 서로 다른 세 점에 부착하여 병렬 로봇의 위치를 제어하는 방법 및 이를 이용하는 병렬 로봇에 관한 것이다.

종래의 직렬형 로봇(Serial Robot)은 각 조인트의 오차 누적에 의해 제어된 끝단 위치의 정밀도(Accuracy)가 그다지 좋지 못하며 또한 강성(Stiffness)의 부족에 의해 고속으로 동작하지 못하는 등의 결점들이 있다. 이에 반하여 병렬형 로봇(Parallel Robot)은 폐 회로로 구성되어 강성이 매우 크고 따라서 고속으로 동작할 수 있으며 또한 조인트의 오차가 누적되지 않고 로봇의 끝 단에서 서로 상쇄되는 특성이 있어 요즘 많은 연구자들이 병렬형 로봇의 개발에 노력하고 있다.

그러나 스튜워트 플랫폼(stewart platform)으로도 불리는 6 자유도의 병렬 로봇은 여러 형태의 이동대 및 고정대를 6 개의 거리가 변하는 구동기가 각 대(Platform)에 조인트로 연결된 구조를 갖게 되어, 일반적으로 6 개의 구동기의 거리만으로는 제어서 반드시 필요한 순 기구학해(이동대의 삼차원 세 병진 위치 및 세 회전 위치(오리엔테이션: Orientation))를 쉽게 구하지 못하여 수치적이고 반복적인 방법으로 구해야만 함으로써 병렬 로봇의 실시간 제어에 어려운 문제점이 있었다.

**발명이 이루고자하는 기술적 과제**

본 발명은 상기한 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로서, 본 발명의 목적은 병렬 로봇의 고정밀화 및 고성능화를 위하여, 병렬 로봇의 위치를 실시간으로 제어하는 방법을 제공하는 것이다.

또한, 본 발명의 다른 목적은 상기 제어방법을 적용하는 병렬 로봇을 제공하는 것이다.

**발명의 구성 및 작용**

상기한 목적을 달성하기 위하여, 고정대(2), 이동대(1), 고정대(2)와 이동대(1) 사이에 위치하는 6개의 구동기(3), 고정대(2)와 구동기(3)의 하단을 연결하는 유니버설 조인트( $A_1, A_2, \dots, A_6$ ) 그리고 이동대(1)와 구동기(3)의 상단을 연결하는 구형 조인트( $B_1, B_2, \dots, B_6$ )를 포함하며, 3개의 선형 거리 센서(4)가 이동대(1)와 고정대(2) 사이에 설치되는 병렬 로봇이 제공되고, 이동대(1)의 위치를 파악하기 위하여 구동기(3)에 부착된 센서와 선형 거리 센서(4)에서 9개의 거리정보를 얻는 단계와, 9개의 거리정보를 수학적 알고리즘으로 실시간으로 계산하는 단계와, 계산결과에 따라 이동대(1)의 위치를 변경하기 위하여 구동기(3)를 작동하는 단계들로 구성되는 병렬 로봇의 제어방법이 제공된다.

6자유도 병렬 로봇의 구동기에 기 부착되어 있는 6개의 거리 센서 외에 이동대 및 고정대의 서로 다른 세 점에 부가적인 세 개의 선형 거리 센서를 붙임으로써 순기구학 해를 쉽고 빠르고 안정적으로 구할 수 있게 함으로써 병렬 로봇의 위치를 실시간 제어가 가능하게 된다. 세 개의 선형 거리 센서는 LVDT(Linear Variable Differential Transducer), CET(Cable Extension Transducer) 또는 레이저 거리 측정기 등을 사용할 수 있다.

이하, 첨부도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세히 설명한다.

도 1은 본 발명의 실시예1인 병렬 로봇의 구성도로서, 상방에 위치한 이동대(1)와 하방에 위치한 고정대(2)가 대체로 평행하게 일정한 간격을 두고 설치된다. 이동대(1)와 고정대(2) 사이에 6개의 구동기(3)가 설치되고, 상기 구동기(3)의 상단은 이동대(1) 테두리에서 동일 평면상에 위치하는 6개 구형 조인트( $B_1, B_2, \dots, B_6$ )와 각각 연결되고, 상기 구동기(3)의 하단은 고정대(2)에서 6개의 유니버설 조인트( $A_1, A_2, \dots, A_6$ )와 각각 연결되어, 이동대(1)의 삼차원 공간상에서의 세 병진 위치 및 세 회전 위치가 제어된다.

이러한 종래의 병렬 로봇에 더하여 본 발명에서는 이동대(1)와 고정대(2) 사이에 3개의 선형 거리 센서(4)가 설치된다. 선형 거리 센서(4)의 상단과 연결되는 3개의 조인트( $T_1, T_2, T_3$ )는 상기 구동기(3)의 상단과 연결되는 6개 구형 조인트( $B_1, B_2, \dots, B_6$ )와 동일 평면상에 있다. 선형 거리 센서(4)의 하단과 연결되는 3개의 조인트( $S_1, S_2, S_3$ )는 고정대(2)와 아무 곳에서나(즉 비동일 평면상에) 각각 연결된다.

이하, 상기 구성을 가지는 병렬 로봇의 위치 제어 방법을 설명한다.

도 4는 본 발명의 병렬 로봇을 제어하는 과정을 나타내는 블록도로서, 구동기(3)에 기 부착된 6개의 거

리 센서(도시 안됨)와, 이동대(1)와 고정대(2) 사이에 추가되는 3개의 선형 거리 센서(4)를 합한 9개의 거리 센서로부터 측정된 거리 센서 신호(L)가 순기구학 해를 구하는 수학적 알고리즘에 따라 계산되어 이동대(1)의 실제 삼차원 위치 신호(Xa)가 발생되고, 이 이동대(1)의 실제 삼차원 위치 신호(Xa)와 이동대(1)의 원하는 삼차원 위치 신호(Xd)를 비교하여 오차 신호(E)가 PID제어기(비례-적분-미분 제어기)에 전달된다. PID제어기에서 오차를 줄이도록 발생된 구동 신호(A)가 6개의 구동기(3)에 전달되어 병렬 로봇의 기구부인 이동대(1)가 움직이게 된다. 변경된 이동대(1)의 위치는 다시 9개 거리센서에 의하여 측정되어 이동대(1)이 원하는 삼차원 위치에 이르기까지 상기한 과정을 반복하게 된다.

여기서 수학적 알고리즘은 다음에 설명되는 유도 식으로써 이동대(1)의 삼차원 공간상에서의 세 병진 위치 및 세 회전 위치를 쉽게 구하여 실시간으로 6자유도 병렬 로봇의 위치 제어가 가능하다.

이하, 이동대(1)의 삼차원 공간상에서의 세 병진 위치 및 세 회전 위치를 구하는, 즉 순 기구학해를 구하는 수학적 알고리즘을 상세히 기술한다.

도 1에서 A<sub>i</sub> 및 B<sub>i</sub> (i = 1, ..., 6)는 각각 고정대(2) 및 이동대(1)에 부착된 구동기(3) 양 끝 단의 조인트의 위치를 나타내는 점들이다. 여기서 B<sub>i</sub> 점들은 모두 동일 평면상에 있어야 한다. 이동대(1)의 동일 평면상에서 일직선상에 있지 않은 서로 다른 세 점을 T<sub>i</sub>로 나타내고 그 좌표를 x<sub>i</sub>, y<sub>i</sub>, z<sub>i</sub> (i = 1, 2, 3)로 한다. 예를 들어 도 2에 보여진 것처럼 T<sub>i</sub>를 선택할 수 있다. 만약 6개의 구동기(3)의 길이가 주어지면 순 기구학 문제는 다음의 (부계 I) 및 (부계 II)로 나타나는 9 개의 미지수에 관련된 9개의 비선형 방정식의 해를 구하는 문제가 된다.

(부계 I):

$$\begin{aligned} \Phi_1 &= [(1-k)x_3 + kx_1 - a_1]^2 + [(1-k)y_3 + ky_1 - b_1]^2 + [(1-k)z_3 + kz_1 - c_1]^2 - l_1^2 = 0 \\ \Phi_2 &= [(1-k)x_2 + kx_1 - a_2]^2 + [(1-k)y_2 + ky_1 - b_2]^2 + [(1-k)z_2 + kz_1 - c_2]^2 - l_2^2 = 0 \\ \Phi_3 &= [(1-k)x_1 + kx_2 - a_3]^2 + [(1-k)y_1 + ky_2 - b_3]^2 + [(1-k)z_1 + kz_2 - c_3]^2 - l_3^2 = 0 \\ \Phi_4 &= [(1-k)x_3 + kx_2 - a_4]^2 + [(1-k)y_3 + ky_2 - b_4]^2 + [(1-k)z_3 + kz_2 - c_4]^2 - l_4^2 = 0 \\ \Phi_5 &= [(1-k)x_2 + kx_3 - a_5]^2 + [(1-k)y_2 + ky_3 - b_5]^2 + [(1-k)z_2 + kz_3 - c_5]^2 - l_5^2 = 0 \\ \Phi_6 &= [(1-k)x_1 + kx_3 - a_6]^2 + [(1-k)y_1 + ky_3 - b_6]^2 + [(1-k)z_1 + kz_3 - c_6]^2 - l_6^2 = 0 \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 a<sub>i</sub>, b<sub>i</sub>, c<sub>i</sub> (i = 1, ..., 6)는 고정대 조인트 A<sub>i</sub>의 좌표이며 도 2를 참조하여 k = 1 - h<sub>2</sub>/p, 그리고 p = 2h<sub>2</sub> + h<sub>1</sub> = T<sub>1</sub>T<sub>2</sub> = T<sub>2</sub>T<sub>3</sub> = T<sub>3</sub>T<sub>1</sub>이다.

(부계 II):

$$\begin{aligned} \Phi_7 &= (x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2 - p^2 = 0 \\ \Phi_8 &= (x_2 - x_3)^2 + (y_2 - y_3)^2 + (z_2 - z_3)^2 - p^2 = 0 \\ \Phi_9 &= (x_3 - x_1)^2 + (y_3 - y_1)^2 + (z_3 - z_1)^2 - p^2 = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 l<sub>i</sub> (i = 1, ..., 6)는 구동기(3)의 길이이다. u<sub>i</sub>=x<sub>i</sub><sup>2</sup>+y<sub>i</sub><sup>2</sup>+z<sub>i</sub><sup>2</sup> (i = 1, 2, 3)과 w<sub>ij</sub>=2x<sub>i</sub>x<sub>j</sub>+2y<sub>i</sub>y<sub>j</sub>+2z<sub>i</sub>z<sub>j</sub> (i, j = 1, 2, 3; i ≠ j)의 관계식을 식 (1) 과 (2)에 대입하여 모든 이차항을 소거하면 다음 식 (3)과 (4)를 얻는다.

$$\begin{aligned} (1-k)^2 u_3 + k^2 u_1 + k(1-k)w_{31} &= P_1(\mathbf{q}) \\ (1-k)^2 u_2 + k^2 u_1 + k(1-k)w_{12} &= P_2(\mathbf{q}) \\ (1-k)^2 u_1 + k^2 u_2 + k(1-k)w_{12} &= P_3(\mathbf{q}) \\ (1-k)^2 u_3 + k^2 u_2 + k(1-k)w_{23} &= P_4(\mathbf{q}) \\ (1-k)^2 u_2 + k^2 u_3 + k(1-k)w_{23} &= P_5(\mathbf{q}) \\ (1-k)^2 u_1 + k^2 u_3 + k(1-k)w_{31} &= P_6(\mathbf{q}) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} w_{12} &= u^1 + u^2 - p^2 \\ w_{23} &= u^2 + u^3 - p^2 \\ w_{31} &= u^3 + u^1 - p^2 \end{aligned}$$

(4)

여기서 q는 일반 좌표를, P<sub>i</sub>(q)(i = 1, ..., 6)는 일반좌표의 선형 다항식이다. 다음, 식 (4)의 w<sub>ij</sub> (i,

$j = 1, 2, 3; i \neq j$ ) 를 식(3)에 대입하면 식 (5)를 얻는다.

$$\begin{aligned} (1-k)u_3 + ku_1 &= P_1(\mathbf{q}) + k(1-k)p^2 \\ (1-k)u_2 + ku_1 &= P_2(\mathbf{q}) + k(1-k)p^2 \\ (1-k)u_1 + ku_2 &= P_3(\mathbf{q}) + k(1-k)p^2 \\ (1-k)u_3 + ku_2 &= P_4(\mathbf{q}) + k(1-k)p^2 \\ (1-k)u_2 + ku_3 &= P_5(\mathbf{q}) + k(1-k)p^2 \\ (1-k)u_1 + ku_3 &= P_6(\mathbf{q}) + k(1-k)p^2 \end{aligned}$$

(5)

그런데 도 1의 세 선형 센서(4)는 다음 (부계 III)의 식 (6)의 구속조건을 덧붙인다.

(부계 III):

$$\begin{aligned} \Phi_{10} &= (x_1 - a_{s1})^2 + (y_1 - b_{s1})^2 + z_1^2 - s_1^2 = 0 \\ \Phi_{11} &= (x_2 - a_{s2})^2 + (y_2 - b_{s2})^2 + z_2^2 - s_2^2 = 0 \\ \Phi_{12} &= (x_3 - a_{s3})^2 + (y_3 - b_{s3})^2 + z_3^2 - s_3^2 = 0 \end{aligned}$$

(6)

여기서  $a_{si}, b_{si}, s_i$  ( $i = 1, 2, 3$ )는 세 개의 센서(4)의 고정대(2) 부착 조인트( $T_1, T_2, T_3$ )의 위치 좌표 및 길이이다. 식 (6)에서, 새로운 변수  $u_i$  ( $i = 1, 2, 3$ )를 다음 식(7)로 나타내고

$$\begin{aligned} u_1 &= s_1^2 + 2a_{s1}x_1 - a_{s1}^2 + 2b_{s1}y_1 - b_{s1}^2 \\ u_2 &= s_2^2 + 2a_{s2}x_2 - a_{s2}^2 + 2b_{s2}y_2 - b_{s2}^2 \\ u_3 &= s_3^2 + 2a_{s3}x_3 - a_{s3}^2 + 2b_{s3}y_3 - b_{s3}^2 \end{aligned}$$

(7)

$u_i$  ( $i = 1, 2, 3$ )를 식(5)에 대입하면 9개의 일반좌표를 포함하는 6개의 선형방정식을 얻는데, 다음의 세 일반좌표  $x_1, y_2, z_3$ 를 독립변수로 삼을 때 그 선형 방정식은 다음 식 (8)과 같이 쓸 수 있다.

$$\mathbf{M}\mathbf{q}_d = \mathbf{v}_0 + \mathbf{v}_1x_1 + \mathbf{v}_2y_2 + \mathbf{v}_3z_3,$$

(8)

여기서  $\mathbf{q}_d = [y_1, z_1, x_2, z_2, x_3, y_3]^T$ 이다. 그러면  $\mathbf{q}_d$ 는 다음 식 (9)와 같이 얻는다.

$$\mathbf{q}_d = \mathbf{M}^{-1}\mathbf{v}_0 + \mathbf{M}^{-1}\mathbf{v}_1x_1 + \mathbf{M}^{-1}\mathbf{v}_2y_2 + \mathbf{M}^{-1}\mathbf{v}_3z_3 = \mathbf{v}_0' + \mathbf{v}_1'x_1 + \mathbf{v}_2'y_2 + \mathbf{v}_3'z_3.$$

(9)

$\mathbf{q}_d$ 를 식 (2) 및 (6)에 넣고 정리하면 세 개의 미지수를 포함하는 다음의 6개의 이차식 (10)을 얻는다.

$$\begin{aligned} h_{i,1}x_1^2 + h_{i,2}y_2^2 + h_{i,3}z_3^2 + h_{i,4}x_1y_2 + h_{i,5}x_1z_3 + h_{i,6}y_2z_3 + h_{i,7}x_1 + h_{i,8}y_2 + h_{i,9}z_3 + h_{i,10} &= 0 \\ i &= 1, \dots, 6 \end{aligned}$$

(10)

식 (10)의 첫번째 세 방정식에서  $x_1^2, y_2^2, z_3^2$ 에 대하여 풀 다음 나머지 세 방정식에 대입하면 다음 식 (11)을 얻는다.

$$H_{i,1}x_1y_2 + H_{i,2}x_1z_3 + H_{i,3}y_2z_3 + H_{i,4}x_1 + H_{i,5}y_2 + H_{i,6}z_3 + H_{i,7} = 0, \quad i = 1, 2, 3.$$

(11)

식 (11)에서  $z_3$ 를 독립변수로 간주하고  $x_1 = X/W, y_2 = Y/W$ 로 치환 후  $W^2$ 를 곱하면

$$\begin{aligned} H_{i,1}XY + (H_{i,2}z_3 + H_{i,4})XW + (H_{i,3}z_3 + H_{i,5})YW + (H_{i,6}z_3 + H_{i,7})W^2 &= 0 \\ i &= 1, 2, 3. \end{aligned}$$

(12)

식 (12)로부터 다음 식 (13), (14), (15)를 구한다.

$$|\mathbf{J}| = C_1(z_3^3)XW^2 + C_2(z_3^3)YW^2 + C_3(z_3^3)W^3 + C_4(z_3^2)XYW,$$

(13)

$$\begin{aligned} |J|_x &= C_1(z_3^3)W^2 + C_4(z_3^2)YW = 0 \\ |J|_y &= C_2(z_3^3)W^2 + C_4(z_3^2)XW = 0 \\ |J|_w &= 2C_1(z_3^3)XW + 2C_2(z_3^3)YW + 3C_3(z_3^4)W^2 + C_4(z_3^2)XY = 0 \end{aligned}$$

(14)

식 (13)은 식 (12)의 자코비안 디터미넌트(Jacobian Determinant)이고, 식 (14)는 식(13)의 X, Y, W에 대한 편미분식이다. 이때, 식(14)의 합인 식 (15)를 다음과 같이 구하는 데 식 (15)의 해는 식(12)의 해와 같다.

$$C_4XY + [2C_1 + C_4]XW + [C_4 + 2C_2]YW + [C_1 + C_2 + 3C_3]W^2 = 0$$

(15)

식 (12) 및 (15)를 행렬형태로 표시하면

$$\begin{bmatrix} H_{1,1} & (H_{1,2}z_3 + H_{1,4}) & (H_{1,3}z_3 + H_{1,5}) & (H_{1,6}z_3 + H_{1,7}) \\ H_{2,1} & (H_{2,2}z_3 + H_{2,4}) & (H_{2,3}z_3 + H_{2,5}) & (H_{2,6}z_3 + H_{2,7}) \\ H_{3,1} & (H_{3,2}z_3 + H_{3,4}) & (H_{3,3}z_3 + H_{3,5}) & (H_{3,6}z_3 + H_{3,7}) \\ C_4(z_3^2) & 2C_1(z_3^3) + C_4(z_3^2) & 2C_2(z_3^3) + C_4(z_3^2) & C_1(z_3^3) + C_2(z_3^3) + 3C_3(z_3^4) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} XY \\ XW \\ YW \\ W^2 \end{bmatrix} = 0$$

(16)

식 (16)의 계수행렬의 디터미넌트(Determinant)를 영으로 하면 미지수 z<sub>3</sub>의 5차 다항식을 얻고 이식을 수치적으로 푼 후 다음 식 (17)로 나머지 미지수를 얻으면 이동대의 삼차원 병진 위치 및 회전 위치를 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} x_1 y_2 \\ x_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} H_{1,1} & (H_{1,2}z_3 + H_{1,4}) & (H_{1,3}z_3 + H_{1,5}) \\ H_{2,1} & (H_{2,2}z_3 + H_{2,4}) & (H_{2,3}z_3 + H_{2,5}) \\ H_{3,1} & (H_{3,2}z_3 + H_{3,4}) & (H_{3,3}z_3 + H_{3,5}) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} (H_{1,6}z_3 + H_{1,7}) \\ (H_{2,6}z_3 + H_{2,7}) \\ (H_{3,6}z_3 + H_{3,7}) \end{bmatrix}$$

(17)

도 3은 본 발명의 병렬 로봇의 실시예 2에 따른 구성도로서, 고정대(2)측에 유니버설 조인트(A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, ..., A<sub>6</sub>)와 센서의 고정대(2) 부착 조인트(S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>)가 동일한 평면상에 위치하는 것이 실시예 1과 다르며, 그외 병렬 로봇의 구성은 실시예 1의 병렬 로봇의 구성과 동일하다.

즉, 도 3에서는 이동대(1)에 부착되는 구형 조인트(B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, ..., B<sub>6</sub>)와 센서의 이동대(1) 부착 조인트(T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>)는 모두 동일한 평면상에 위치하고, 또한 고정대(2)에 부착되는 유니버설 조인트(A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, ..., A<sub>6</sub>)와 센서의 고정대(2) 부착 조인트(S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>)는 모두 동일한 평면에 위치하는 것이 도시되어 있다.

이와 같은 구성에 의해 이동대(1)의 삼차원 공간상에서의 세 병진 위치 및 세 회전 위치, 즉 순 기구학 해를 계산하는 알고리즘이 다음에 설명되는 유도식과 같이 훨씬 단순하여져, 병렬 로봇의 위치가 고속으로 동시에 정밀하게 제어된다. 그외 병렬 로봇의 제어 방법은 실시예 1의 병렬 로봇의 제어 방법과 동일하다.

이 경우 B<sub>i</sub>점의 위치를 다음 식 (18)과 같이 쓸 수 있다.

$$OB_i = \begin{bmatrix} k_{i,1}x_1 + k_{i,2}x_2 + k_{i,3}x_3 \\ k_{i,1}y_1 + k_{i,2}y_2 + k_{i,3}y_3 \\ k_{i,1}z_1 + k_{i,2}z_2 + k_{i,3}z_3 \end{bmatrix}, \quad i = 1, 2, \dots, 6$$

(18)

여기서 k<sub>i,1</sub>+k<sub>i,2</sub>+k<sub>i,3</sub>=1.

이 경우 앞에서와 비슷하게 다음의 (부계 I), (부계 II), 및 (부계 III)으로 나타나는 비선형 방정식들의 해를 구함으로써 원하는 이동대(1)의 삼차원 병진 위치 및 회전 위치를 구할 수 있다.

(부계 I):

$$\begin{aligned} \Phi_i = & (k_{i,1}x_1 + k_{i,2}x_2 + k_{i,3}x_3 - x_{A_i})^2 \\ & + (k_{i,1}y_1 + k_{i,2}y_2 + k_{i,3}y_3 - y_{A_i})^2 \\ & + (k_{i,1}z_1 + k_{i,2}z_2 + k_{i,3}z_3)^2 - \ell_i^2 = 0, \quad i = 1, 2, \dots, 6 \end{aligned} \quad (19)$$

여기서  $\ell_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 6$ )는 구동기(3)의 길이이다.

(부계 II):

$$\begin{aligned} \Phi_7 = & (x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2 - \rho^2 = 0 \\ \Phi_8 = & (x_2 - x_3)^2 + (y_2 - y_3)^2 + (z_2 - z_3)^2 - \rho^2 = 0 \\ \Phi_9 = & (x_3 - x_1)^2 + (y_3 - y_1)^2 + (z_3 - z_1)^2 - \rho^2 = 0 \end{aligned} \quad (20)$$

여기서  $\rho = T_1T_2 = T_2T_3 = T_3T_1$ 이다.

(부계 III):

$$\begin{aligned} \Phi_{10} = & (x_1 - x_{S_1})^2 + (y_1 - y_{S_1})^2 + z_1^2 - s_1^2 = 0 \\ \Phi_{11} = & (x_2 - x_{S_2})^2 + (y_2 - y_{S_2})^2 + z_2^2 - s_2^2 = 0 \\ \Phi_{12} = & (x_3 - x_{S_3})^2 + (y_3 - y_{S_3})^2 + z_3^2 - s_3^2 = 0 \end{aligned} \quad (21)$$

여기서  $s_i$ 는 선형 거리 센서(4)의 길이이고  $i=1,2,3$ 이다.

(부계 I)은 다음의 선형화 공식 (22)을 사용하여 다음 선형 방정식 (23)을 얻는다.

$$\begin{aligned} \Phi'_i = & \Phi_i - k_{i,1}^2\Phi_{10} - k_{i,2}^2\Phi_{11} - k_{i,3}^2\Phi_{12} + k_{i,1}k_{i,2}(\Phi_7 - \Phi_{10} - \Phi_{11}) \\ & + k_{i,2}k_{i,3}(\Phi_8 - \Phi_{11} - \Phi_{12}) + k_{i,3}k_{i,1}(\Phi_9 - \Phi_{10} - \Phi_{12}) \quad i = 1, 2, \dots, 6 \end{aligned} \quad (22)$$

$Mq=L$

(23)

여기서  $M$ 은  $(6 \times 6)$ 의 계수행렬이고  $L$ 은  $(6 \times 1)$  벡터이며 그 요소들은 다음 식들로 표시된다.

$$\begin{aligned} \mathbf{M}_i = & 2 \left[ k_{i,1}(x_{S_1} - x_{A_i}), k_{i,1}(y_{S_1} - y_{A_i}), k_{i,2}(x_{S_2} - x_{A_i}), \right. \\ & \left. k_{i,2}(y_{S_2} - y_{A_i}), k_{i,3}(x_{S_3} - x_{A_i}), k_{i,3}(y_{S_3} - y_{A_i}) \right] \\ L_i = & (\ell_i^2 - x_{A_i}^2 - y_{A_i}^2) - k_{i,1}(s_1^2 - x_{S_1}^2 - y_{S_1}^2) - k_{i,2}(s_2^2 - x_{S_2}^2 - y_{S_2}^2) \\ & - k_{i,3}(s_3^2 - x_{S_3}^2 - y_{S_3}^2) + \rho^2(k_{i,1}k_{i,2} + k_{i,2}k_{i,3} + k_{i,3}k_{i,1}) \end{aligned}$$

$$q = [x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3]^T$$

그러면 벡터  $q$ 는 다음 식 (24)로 구해지며 나머지 변수들  $(z_1, z_2, z_3)$ 는 식 (21)에서 쉽게 구할 수 있다.

$$q = M^{-1}L$$

(24)

이와 같이  $q$ 와  $(z_1, z_2, z_3)$ 값을 구할 때, 반복적인 계산 절차가 불필요해지고 훨씬 간단히 구해짐으로서, 3차원 공간상에서 이동대(1)의 위치를 제어하는 것이 용이하게 된다.

### 발명의 효과

상기한 구성의 본 발명에 따르면, 일반적인 구조를 가지는 병렬 로봇의 순 기구학 해를 아주 손 쉽게 구하여 병렬 로봇의 위치를 실시간으로 제어하는 것이 가능한 효과가 있고, 나아가 이러한 제어방법이 응용되는 병렬 로봇형 삼차원 좌표 측정기, 병렬 로봇형 5축 가공기, 병렬 로봇형 6축 힘/토크센서 등에 고성능화, 고정밀화할 수 있는 효과가 있다.

### (57) 청구의 범위

#### 청구항 1

병렬 로봇의 제어방법으로서,

이동대(1)의 삼차원 실제 위치를 파악하기 위하여 구동기(3)에 부착된 센서와, 이동대(1)와 고정대(2) 사이에 추가·설치되는 복수의 선형 거리 센서(4)에서 9개의 거리정보를 얻는 단계와;

9개의 거리정보를 수학적 알고리즘으로 실시간으로 계산하는 단계와;

계산결과에 따라 이동대(1)의 위치를 변경하기 위하여 구동기(3)를 작동하는 단계들로 구성되고,

상기 수학적 알고리즘의 계산결과로 이동대(1)의 삼차원 위치( $x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2, x_3, y_3, z_3$ )가 구동기(3)에 부착된 센서의 거리정보( $l_1, l_2, \dots, l_9$ )와 복수의 선형 거리 센서(4)의 거리정보( $s_1, s_2, s_3$ )의 양함수(explicit function)꼴로 표현가능함을 특징으로 하는 병렬 로봇의 제어방법.

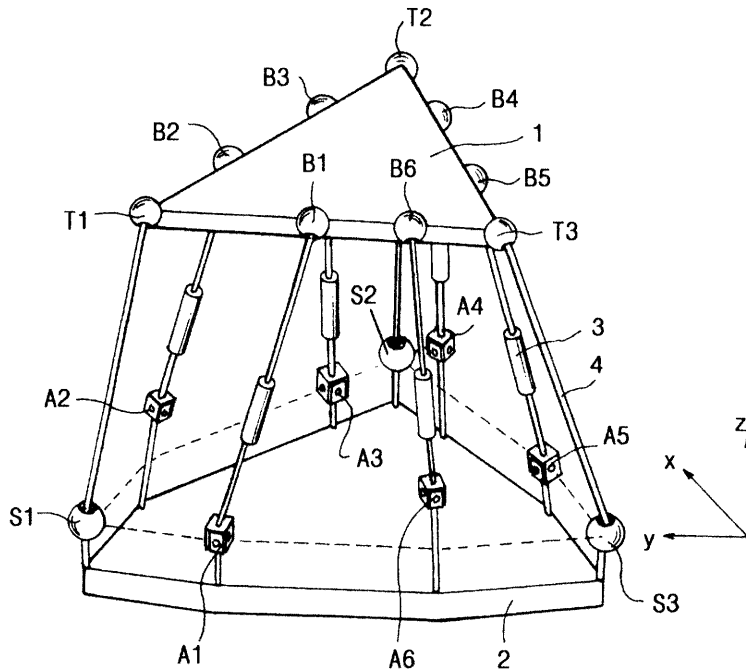
**청구항 2**

고정대(2)와; 고정대(2) 상방에 위치하는 이동대(1)와; 고정대(2)와 이동대(1) 사이에 위치하는 복수의 구동기(3)와; 고정대(2)와 구동기(3)의 하단을 연결하는 조인트( $A_1, A_2, \dots, A_6$ )와; 이동대(1)와 구동기(3)의 상단을 연결하는 조인트( $B_1, B_2, \dots, B_6$ )를 포함하는 병렬 로봇의 제어 장치에 있어서,

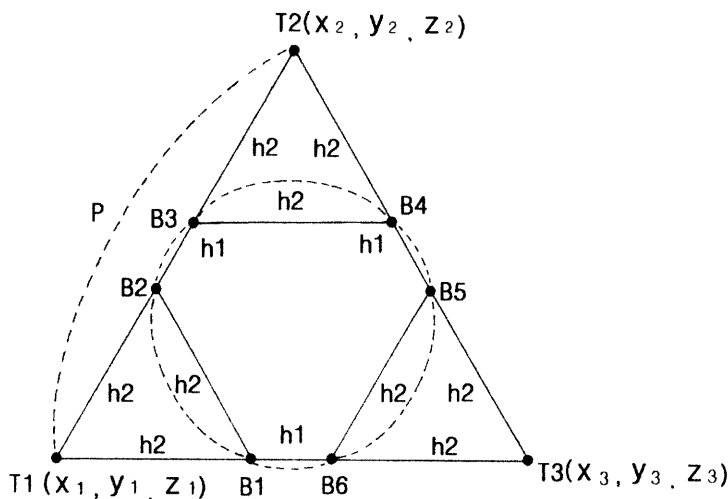
복수의 선형 거리 센서(4)가 이동대(1)와 고정대(2) 사이에 설치되고, 상기 구동기(3)는 제1항의 방법에 따라 이동대(1)의 위치를 제어하는 것을 특징으로 하는 병렬 로봇의 제어 장치.

도면

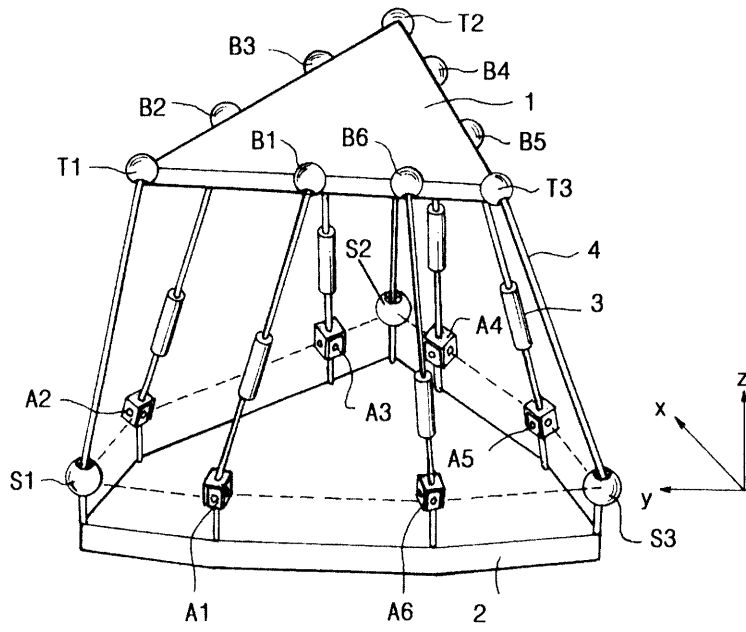
도면1



도면2



도면3



도면4

